

УДК 621.923.5.02

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ И СРЕДСТВА ДЛЯ ХОНИНГОВАНИЯ ОТВЕРСТИЙ В ДЕТАЛЯХ МАЛОЙ ЖЕСТКОСТИ

Н.В. Лысенко, Ю.А. Шилова

Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Предложены способы обработки, техническое устройство для установки заготовок и гибкий режущий инструмент для хонингования отверстий в деталях малой жесткости с целью повышения точности обработки.

Ключевые слова: способ обработки, приспособление, инструмент, хонингование, тонкостенная заготовка.

В современном машиностроительном производстве, авиастроении, ракетостроении, пищевой промышленности, а также при создании изделий военно-промышленного комплекса одним из важных направлений является снижение материалоемкости. Это обстоятельство диктует необходимость применения деталей с малой толщиной стенок из высокопрочных материалов, обеспечивающих высокую надежность и долговечность при эксплуатации. Применение цилиндрических тонкостенных деталей в конструкциях создает известные трудности не только при их обработке, но также при эксплуатации и ремонте. Малая жесткость стенок приводит к значительным деформациям при закреплении заготовки в приспособлении, с одной стороны, и воздействии режущего инструмента в зоне контакта – с другой. Эти деформации соизмеримы, а порой превышают величину допуска на размер обрабатываемой заготовки. Неравномерная деформация стенок от воздействия сил закрепления и сил резания приводит к появлению погрешностей в виде отклонений от круглости в поперечном сечении и отклонений от цилиндричности в продольном.

Для достижения требуемой точности обработки тонкостенных деталей приходится снижать силовое воздействие на стенки, что неизбежно сопровождается потерей производительности обработки. Таким образом, при установке заготовки в приспособлении необходимо решать двудединую задачу. Во-первых, при закреплении деформация стенок не должна превышать допустимых значений, во-вторых, силы закрепления должны надежно удерживать заготовку во время обработки. Для реализации этих требований необходима разработка новых конструкторско-технологических решений по обеспечению высокой точности обработки и качества поверхностного слоя.

Окончательные параметры точности и шероховатости поверхностей отверстий при механической обработке формируются на заключительных операциях технологического процесса с применением абразивных инструментов. Предпочтение отдается низкотемпературным методам обработки брусками – суперфинишированию и хонингованию.

Николай Васильевич Лысенко (к.т.н., доц.), доцент кафедры «Технология машиностроения».

Юлия Александровна Шилова, аспирант.

В работе [1] предложено несколько вариантов по снижению упругих деформаций при хонинговании нежестких заготовок. Авторы предлагают использовать бруски на эластичной связке или специальную хонинговальную головку. Это позволяет повысить точность обрабатываемых отверстий.

Научно-производственным предприятием «Темп-техномаш» предложен способ хонингования длинномерных нежестких деталей [2]. В процессе хонингования к заготовке прикладывают осевое растягивающее усилие в пределах упругой деформации, большее или равное осевой составляющей от силы давления хонинговальных брусков на обрабатываемую поверхность. Заготовку устанавливают с возможностью осевого перемещения ее конца, расположенного по направлению перемещения инструмента. Такой прием, по мнению патентообладателя, позволяет исключить сжатие материала заготовки в процессе обработки под действием осевой составляющей давления хонинговальных брусков на обрабатываемую поверхность и повысить точностные параметры в продольном и поперечном сечениях детали.

Из законов физики известно, что сила действия равна силе противодействия. При силовом радиальном нагружении заготовок силами закрепления с наружной стороны и силами равномерной распределенной нагрузкой от действия абразивных брусков с внутренней стороны возникают различные по величине и знаку упругие деформации. Решение задачи по уменьшению деформации может быть сведено к выравниванию радиальных сил воздействия на заготовку с наружной и внутренней стороны. Это, по нашему мнению, позволит значительно повысить точность обработки маложестких заготовок.

В Самарском государственном техническом университете разработан способ хонингования отверстий в тонкостенных деталях [3]. Предложенный способ отличается от известных тем, что в отверстие детали, размещенной в приспособлении для закрепления, вводят хон, одновременно равномерно нагружают удельным давлением стенки детали путем подачи рабочего агента в полости зажимного приспособления и хона с обеспечением одинакового удельного давления на стенки детали с наружной стороны резиновой эластичной манжетой, а с внутренней стороны абразивными брусками, сообщают хону с абразивными брусками окружное и возвратно-поступательное движения и выполняют обработку. После обработки отключают рабочее движение и одновременно равномерно снижают удельное давление рабочего агента для извлечения детали.

Способ хонингования реализуется при помощи зажимного устройства с эластичным резиновым манжетом и инструментом хонем.

На рис. 1 изображена схема устройства для осуществления способа.

Обрабатываемая деталь 1 устанавливается по наружной поверхности в приспособлении с эластичным резиновым манжетом 2, получающим радиальное перемещение под действием рабочего агента, например воздуха. Эластичный резиновый манжет 2 размещается внутри корпуса приспособления 3 и фиксируется на нем при помощи нижнего фланца 4 и крышки 5 винтами 6 (условно не показаны). Корпус приспособления 3 имеет кольцевую выточку, образуя полость 7 для подачи рабочего агента через штуцер 8.

Хонинговальная головка устанавливается на шпинделе 9 станка. Корпус хона 10 выполнен, например, в виде полой камеры 11. По наружной поверхности корпуса хона 10 установлена эластичная резиновая манжета 12, по периферии которой в карманах размещены колодки с абразивными брусками 13. В корпусе

10 хона выполнены радиальные отверстия 14 для подачи рабочего агента внутрь полости 15, образуемой между корпусом хона 10 и резиновой эластичной манжетой 12. В верхней и нижней части абразивных брусков 13 установлены кольцевые пружины 16 для возвращения брусков 13 в исходное положение.

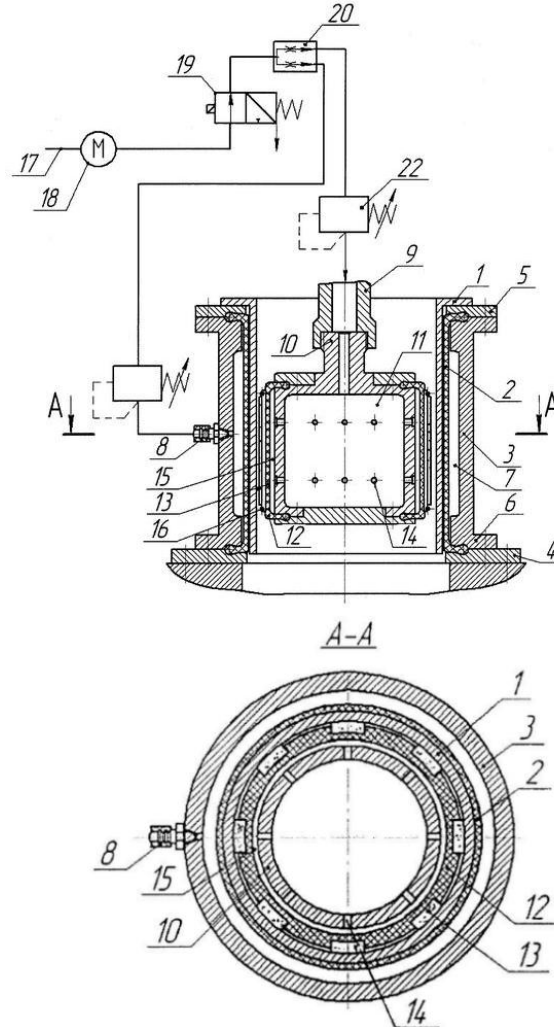


Рис. 1. Схема устройства для осуществления способа хонингования

Подача рабочего агента, например воздуха, в полость 7 приспособления для закрепления детали 1 и полость 15 хонинговальной головки осуществляется по трубопроводу 17, в который встроен манометр 18, с последующим размещением пневмораспределителя 19. По пути к приспособлению и хону на трубопроводе установлен распределитель потока 20 для подачи воздуха в двух направлениях. От распределителя 20 в направлениях к полости 7 приспособления и камеры 11 хона размещены регуляторы давления (пневмоклапаны) 21 и 22, позволяющие путем настройки обеспечить необходимое удельное давление в системе зажима заготовки 1 и разжима хонинговальных брусков 13. Дополнительные приборы, обеспечивающие работу пневмосистемы, на схеме условно не показаны.

Перед обработкой деталь 1 устанавливают в приспособление с эластичным резиновым манжетом 2. Задают удельным давлением в рабочей камере 7 приспособления. Вводят хон в отверстие обрабатываемой детали 1. Выполняют

настройку регуляторов давления 21 и 22 (пневмоклапанов) на соответствующее давление в полости 7 приспособления и камере 11 хона для разжима абразивных брусков 13. Включают пневмораспределитель 19, рабочий агент через распределитель потока 20 следует в двух направлениях и поступает через регулятор давления 21 в полость 7 приспособления для закрепления и одновременно через регулятор давления 22 в камеру 11 хонинговальной головки, создавая одинаковые давления P на стенки детали 1 с наружной стороны эластичной резиновой манжетой 2 и с внутренней стороны абразивными брусками 13. Включают рабочие движения хонинговальной головки – окружную и возвратно-поступательную скорость, а в зону обработки подается СОЖ. Выполняют обработку детали. В результате одинакового заданного удельного давления P на стенки детали 1 со стороны резиновой манжеты 2 и абразивных брусков 13 обеспечивается одинаковая поперечная жесткость детали, уменьшаются деформации стенок и, следовательно, погрешности геометрической формы отверстия, повышается точность обработки как в продольном, так и в поперечном направлении.

По завершении обработки детали 1 выключаются рабочие движения хонинговальной головки. При переключении пневмораспределителя 19 рабочий агент поступает через регуляторы давления 21 и 22, которые одновременно равномерно снижают давление, снижая его. За счет сил упругости резиновая манжета 2 возвращается в исходное положение, увеличиваясь в размере в радиальном направлении. Одновременно с этим абразивные бруски 13 под действием кольцевых пружин 16 перемещаются также в радиальном направлении, уменьшая диаметральный размер хона. В результате этих перемещений образуются зазоры между эластичной манжетой 2 и наружной стенкой заготовки 1 и с внутренней стороны между абразивными брусками 13 и обработанным отверстием. Хонинговальная головка выводится из отверстия заготовки 1, а сама заготовка извлекается из приспособления.

Предложенным способом выполняли обработку отверстия $\varnothing 85,98^{+0,02}$ мм, длиной 116 мм с толщиной стенки детали 1,8 мм в детали гибкого колеса волнового редуктора. Обработку производили на вертикально-хонинговальном станке 3М82. Для хонингования отверстия использовали хонинговальную головку с эластичной резиновой манжетой, по периферии которой в карманах устанавливались 6 абразивных брусков на эластичной связке 63/40 Р9 размером 100×10 мм.

Режимы обработки: скорость вращательного движения 28 м/мин, скорость возвратно-поступательного движения 10 м/мин, удельное давление на стенки заготовки с наружной и внутренней стороны 0,4 МПа, снимаемый припуск 0,02 мм на диаметр.

Заготовку 1 размещали в приспособлении с эластичным резиновым манжетом, вводили в отверстие детали гибкого колеса инструмент, одновременно подавали воздух в рабочие полости приспособления для закрепления хонинговальной головки при помощи регуляторов давления 21 и 22, обеспечивая одинаковое давление на стенки детали с наружной и внутренней стороны 0,4 МПа. Включали рабочие движения и подачу СОЖ. Выполняли обработку. После обработки включали рабочее движение, равномерно снижали давление рабочего агента путем сброса в атмосферу, извлекали деталь. В результате обработки получили деталь с отверстиями и шероховатостью $Ra\ 0,63$ мкм от прямолинейности образующей 8 мкм с отклонением от круглости 5 мкм.

Удельное давление при закреплении заготовки с помощью эластичного манжета рассчитывается из условия удерживания ее от проворота под действием окружной силы резания

$$P_1 = \frac{\beta \cdot P_{ок} \cdot d}{\pi D \cdot l_k \cdot f}$$

или из условия удерживания заготовки от смещения под действия осевой силы

$$P_2 = \frac{\beta \cdot P_{ос}}{\pi D \cdot l \cdot f_{mp}},$$

где f – коэффициент трения резины по стали, принимаемый в пределах $0,5 \div 0,8$;

d – диаметр обрабатываемого отверстия, см;

D – наружный диаметр закрепляемой заготовки, см;

l_k – длина эластичного манжета, см;

β – коэффициент надежности зажима ($\beta = 1,3 \div 1,5$).

При использовании хонинговальной головки с разжимными конусами после расчета удельного давления под действием манжета определяют суммарную силу давления в системе разжима брусков:

$$P_B = F_5 \cdot q_B,$$

где q_B – удельное давление брусков на единицу площади;

$$F_B = b \cdot l_B \cdot n,$$

где b – ширина брусков, см;

l_B – длина брусков, см;

n – число брусков.

Исходя из равенства удельных давлений в рабочей камере зажимного устройства и системе разжима брусков при закреплении имеем: $P_{zy} = P_B = const$.

Тогда $\pi D \cdot l_k \cdot q_{zy} = F_{бр} \cdot q_B = const$, где q_{zy} – удельное давление в рабочей камере на единицу площади.

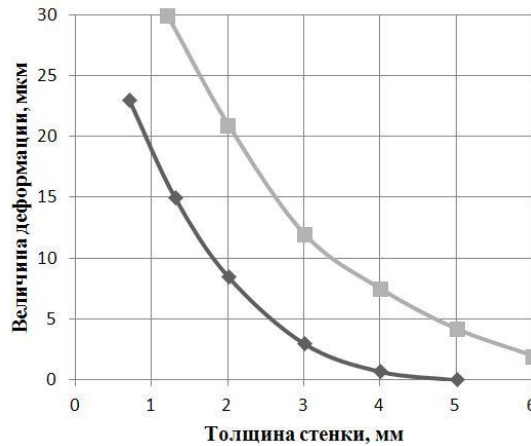


Рис. 2. Деформация заготовки при различных толщинах стенок:
1 – Ст45; 2 – Д16

После преобразования получаем необходимое удельное давление на брусках:

$$q_B = \frac{\pi D \cdot l_k \cdot q_{zy}}{F_B}.$$

Как показала практика хонингования отверстий, с увеличением толщины стенок заготовки деформации при равных прочих условиях уменьшаются, а точность возрастает.

Следовательно, при конструировании приспособлений необходимо стремиться к увеличению жесткости стыка «приспособление – заготовка». В технической литературе отмечается, что оптимальным устройством для закрепления тонкостенных заготовок является эластичная резиновая манжета.

Недостатком этого устройства является непригодность для закрепления заготовок с различными конструкторскими элементами по наружной поверхности. Нами предложено техническое устройство для цилиндрических тонкостенных заготовок, позволяющее расширить технологические возможности приспособления и одновременно увеличить радиальную жесткость контакта заготовки с приспособлением [4].

Поставленная цель достигается тем, что в средней части эластичной резиновой манжеты выполнен цилиндрический кольцевой выступ, предназначенный для установки разрезной цилиндрической втулки с равномерно распределенными по окружности в продольном направлении встречными пазами, образующими подвижные в радиальном направлении двухсторонние сектора, предназначенные для одновременного контакта наружной поверхности заготовки под воздействием эластичной резиновой манжеты.

На рис. 3 изображена схема устройства с разрезной цилиндрической втулкой.

Устройство для закрепления тонкостенных цилиндров содержит корпус-обойму 1, верхнюю 2 и нижнюю 3 плиты, резиновый эластичный манжет 4 и цилиндрическую разрезную втулку 5. В средней части эластичной манжеты 4 выполнен кольцевой цилиндрический выступ 6 для установки на него разрезной втулки 5 при помощи кольцевой ответной проточки. Резиновый эластичный манжет 4 устанавливается во впадинах 7, сформированных между корпусом-обоймой 1 и плитами 2 и 3, и фиксируется при помощи винтов (на схеме не показаны). В продольном направлении втулки 5 выполнены равномерно расположенные по окружности продольные в радиальном направлении двухсторонние лепестки 9 для закрепления детали 10. В средней части корпуса-обоймы 1 установлен штуцер 11 для подачи рабочего агента.

Устройство для закрепления тонкостенных цилиндров работает следующим образом.

После размещения заготовки 10 в отверстии разрезной втулки 5 во внутреннюю полость резиновой эластичной манжеты 4, образуемую между корпусом-обоймой 1, через штуцер 11 подается рабочий агент под давлением. Под действием давления резиновая эластичная манжета 4 перемещается в радиальном направлении и своими стенками воздействует на наружную поверхность разрезной втулки 5, в частности на подвижные в радиальном направлении лепестки 9. Последние, упруго деформируясь, закрепляют заготовку 10, обеспечивая прилегание лепестков 9 к заготовке 10 с охватом по окружности. После закрепления заготовку подвергают обработке. После обработки детали давление рабочего снимается. За счет сил упругости лепестки 9 разрезной втулки 5 и стенки резиновой эластичной манжеты 4 возвращаются в исходное положение. Между внутренней поверхностью разрезной втулки 5 и заготовки 10 образуется зазор, и она легко удаляется из зоны закрепления. При обработке каждой заготовки цикл повторяется.

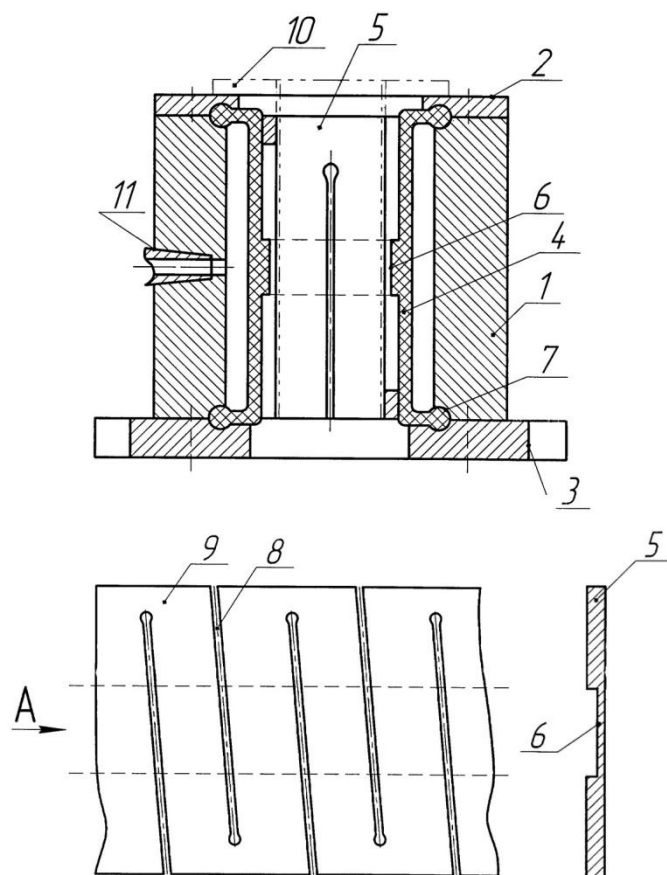


Рис. 3. Устройство для закрепления тонкостенных заготовок

Теоретические и экспериментальные данные, полученные рядом авторов [5, 6], показывают, что эпюры перемещения стенок закрепленной тонкостенной заготовки как с наружной, так и с внутренней сторон зависят от характера нагружения. При этом установлено, что максимальная величина прогиба стенок под действием осесимметричной нагрузки уменьшается, если эта нагрузка приложена в виде разделенных участков с равными промежутками [6, 7]. Описание выявленного свойства навело на мысль о необходимости создания абразивного инструмента с разделенными (прерывистыми) силами нагружения стенок обрабатываемой заготовки с малыми силовыми нагрузками. Авторами предложен гибкий абразивный инструмент, конструкция которого показана на рис. 4.

Абразивный инструмент состоит из корпуса 1, на котором рядами установлены кольца 2. На торцевых поверхностях 3 колец 2 выполнены кольцевые проточки 4 и радиальные пазы 5 для размещения упругих гибких связей 6, например из углеродистой пружинной проволоки. В кольцевых проточках 4 устанавливаются шарики 7, неподвижно смонтированные с упругими гибкими связями 6 с одной стороны и сферическими абразивными рабочими элементами 8 с другой стороны. Шарики 7, упругая связь 6 и сферические абразивные рабочие элементы 8 соединены неподвижно, образуют отдельные звенья равной длины, ими комплектуется гибкий абразивный

инструмент при сборке. После сборки каждого ряда колец 2 и установки звеньев они стягиваются при помощи гайки 9. Корпус 1 и кольца 2 подлежат многократному использованию. Например, после износа сферических абразивных рабочих элементов 8 инструмент разбирается, отработанные звенья снимаются, и он комплектуется новыми звеньями.

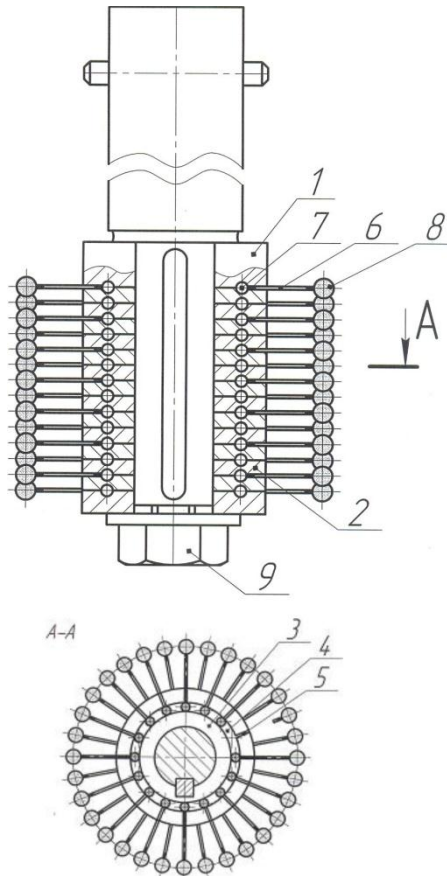


Рис. 4. Гибкий абразивный инструмент

Шарики 7, размещенные в кольцевых проточках 4 колец 2, через упругие гибкие связи 6 надежно удерживают сферические абразивные рабочие элементы 8 в радиальном направлении при работе инструмента. Каждый ряд сферических абразивных элементов 8 расположен в шахматном порядке, что позволяет обеспечить плотность сетки при обработке.

Устройство работает следующим образом. Гибкий абразивный инструмент устанавливают в шпинделе хонинговального станка; после установки детали 10 в приспособление 11 включают вращательное V_0 и возвратно-поступательное V_1 движения, а в зону обработки подают смазочно-охлаждающую жидкость. При перемещении инструмента вниз по направлению к детали 10 сферические абразивные рабочие элементы 8 первоначально соприкасаются с торцевой частью детали, упругая гибкая связь 6 деформируется и абразивные элементы 8 скользят в обрабатываемое отверстие и в дальнейшем перемещаются по спирали за счет сложения вращательного V_0 и возвратно-поступательного V_1 движений.

При входе каждого ряда сферических абразивных элементов 8 в обрабатываемое отверстие детали 10 наружный диаметр инструментов уменьшается за счет деформации упругих связей 6. За счет разницы размеров обрабатываемого отверстия и наружного диаметра инструмента в зоне обработки создается натяг, сферические абразивные рабочие элементы 8 с определенным усилием прижимаются к поверхности обрабатываемого отверстия детали 10, и абразивные зерна наносят риски-царапины, осуществляя микрорезание материала. Рабочая абразивная поверхность обладает большой режущей и, тем самым, обеспечиваются условия необходимые для обработки металла. Независимо от формы отверстия (конусообразность, некруглость, наличие окон, шпоночных канавок, уступов) сферические абразивные рабочие элементы 8 за счет упругости гибких связей 6 отслеживают форму обрабатываемой поверхности. При перебеге инструмента за края отверстия рабочие элементы 8 касаются противоположного торца детали и, увеличивая наружный диаметр инструмента, выходят из отверстия, снимая заусенцы и закругляя острые кромки. После завершения хода инструмента вниз подается команда реверсирования, и он перемещается вверх, рабочие элементы 8 также отслеживают форму обрабатываемой поверхности.

По окончании цикла хонингования инструмент поднимается вверх, выводится из отверстия, отключаются окружное и возвратно-поступательное движения.

Преимущества предлагаемого гибкого абразивного инструмента: простота конструкции, не требующая центрирования (совмещения) оси отверстия с осью шпинделя станка, а также применения плавающего хонинговального инструмента-головки при жестком закреплении обрабатываемой детали; возможность обработки тонкостенных деталей за счет малых силовых нагрузок; возможность обработки отверстий различной формы с наличием радиальных сверлений, окон, пазов, шпоночных канавок с одновременным снятием заусенцев и скруглением острых кромок; отсутствие необходимости определенного перебега инструмента за края обрабатываемого отверстия; возможность многократного применения базовых деталей, корпуса и колец; возможность обеспечения различных удельных давлений в зоне контакта сферических абразивных рабочих элементов за счет выбора натяга, т. е. разницы диаметральных размеров инструмента и обрабатываемого отверстия, а также жесткости упругих связей; снижение теплонапряженности в зоне обработки.

Лабораторные испытания гибкого абразивного инструмента подтвердили эффективность его использования при обработке отверстий с целью уменьшения высоты микронеровностей.

Предложенные средства технологического оснащения могут быть реализованы на каждом машиностроительном предприятии при финишной обработке поверхностей деталей малой жесткости с небольшими материальными затратами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лысенко Н.В., Шилова Ю.А. Обеспечение точности хонингования тонкостенных деталей // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Техническое науки. – 2008. – № 2(222). – С. 133-137.
2. Патент RU 2117565 от 20.08.1998. По заявке 97112424/02. Способ хонингования / Халин Г.Ф.; Заявитель и патентообладатель: Научно-производственное предприятие «Темп-Техномаш».

3. Патент RU 2497651 от 25.05.2012. По заявке 2012121785/02. Способ хонингования отверстий / Лысенко Н.В., Шилова Ю.А. Патентообладатель: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Самарский государственный технический университет».
4. Патент RU 2419518 от 18.05.2009. По заявке 2009118651/02. Устройство для установки тонкостенных цилиндров / Лысенко Н.В., Шилова Ю.А. Патентообладатель: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Самарский государственный технический университет».
5. *Лопатухин И.М.* Перемещения тонкостенных цилиндрических деталей при закреплении их в срединной части // Изв. вузов. Машиностроение. – 1983. – № 3. – С. 17-21.
6. *Лысенко Н.В., Шилова Ю.А.* Анализ упругих деформаций при хонинговании тонкостенных деталей при помощи программного комплекса ANSYS // Межвузовский сборник научных статей с международным участием. Актуальные проблемы разработки и использования компьютерных технологий в машиностроении. – Самара, 2010. – С. 159-162.
7. *Лопатухин И.М.* Удерживающая способность зажимных устройств в машиностроении: Учеб. пособие по курсу «Основы конструирования приспособлений» / Азербайджанский политехнический институт им. Ч. Ильдрыма. – Баку, 1984. – 98 с.

Статья поступила в редакцию 9 января 2014 г.

MODERN TECHNOLOGICAL METHODS AND MEANS FOR HONING OF OPENINGS IN SMALL RIGIDITY PARTS

N.V. Lysenko, Y.A. Shilova

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

Processing methods, the technical device for installation the blanks and the flexible cutting tool for honing of openings in small rigidity parts for increase the processing accuracy are offered.

Keywords: way of processing, adaptation, tool, honingovaniye, thin-walled preparation.

Николай Васильевич Лысенко (к.т.н., доц.), доцент кафедры «Технология машиностроения».

Юлия Александровна Шилова, аспирант.